

## **Aplikasi Teknik Transformasi Kaedah Langsung Untuk Kalibrasi Kamera Video Dalam Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat**

**Zulkepli Bin Majid**

Sarjana Muda Ukur Tanah (UTM)  
Fakulti Kejuruteraan Dan Sains Geoinformasi  
Universiti Teknologi Malaysia  
E-mail : zulkepli@fksge.utm.my

### **Abstrak**

Kertas ini membincangkan penggunaan teknik transformasi kaedah langsung (DLT) untuk mengkalibrasi kamera video sebagai satu kamera yang berunsur bukan metrik dalam aplikasinya kepada bidang fotogrametri jarak dekat. Proses penentuan elemen orientasi dalaman dan parameter-parameter erotan kanta menjadi isu utama perbincangan. Satu sistem talian terus kamera video ke komputer telah direkabentuk yang melibatkan penggunaan alat Frame-grabber. Objek ujian dengan lima permukaan berlainan kedalaman dibuat yang dilengkapi dengan titik kawalan dan titik semakan.

### **1. PENGENALAN**

Secara konvensional, alat kutipan data yang amat terkenal di dalam penyelesaian masalah-masalah fotogrametri jarak dekat dan juga fotogrametri terestrial adalah kamera Wild P32, kamera Zeiss DK40, Zeiss SMK5.5 dan sebagainya. Kamera-kamera ini dikenali sebagai kamera metrik dimana ianya mempunyai parameter-parameter orientasi dalaman iaitu titik prinsipal ( $X_p$ ,  $Y_p$ ), jarak prinsipal ( $C$ ) dan parameter erotan kanta yang telah ditetapkan melalui proses kalibrasi yang dilakukan sebelum kamera-kamera ini digunakan. Kamera metrik ini juga adalah berasaskan kepada filem sebagai penerima dimana objek disimpan.

Bermula pada tahun 1984, penggunaan kamera metrik untuk mendapatkan data-data untuk kerja-kerja fotogrametri jarak dekat dan fotogrametri terestrial dikejutkan dengan satu teknik baru iaitu proses kutipan data dilakukan dengan menggunakan kamera bukan metrik. Kamera bukan metrik, contohnya kamera CCD, kamera Camcorder, kamera digital dan khususnya kamera video adalah berbeza dengan kamera metrik kerana kamera ini tidak menetapkan nilai bagi parameter-parameter orientasi dalaman dan erotan kanta sepertimana yang telah diterangkan. Penyelesaian kepada isu ini telah banyak dilakukan oleh penyelidik-penyelidik luar negara (Fraser C.S, Beyer H.A, Shortis M.R, Gruen A.W dan sebagainya) yang membincangkan dengan mendalam samada untuk isu geometrik dan radiometrik.

Untuk menyelesaikan masalah di atas, beberapa kaedah telah diutarakan oleh penyelidik-penyelidik dengan menampilkan parameter-parameter tambahan yang difikirkan penting untuk melakukan penyelesaian. Antara kaedah-kaedah tersebut adalah teknik "Self-Calibration" (Beyer H.A), teknik "Bundle Adjustment" (Fraser C.S) dan sebagainya. Satu daripada teknik yang telah diterbitkan adalah teknik transformasi kaedah langsung atau "Direct Linear Transformation (DLT)" (Karara H.M).

Di dalam kajian yang telah dilakukan, teknik transformasi kaedah langsung (DLT) digunakan. Apa yang dilihat adalah penggunaan teknik ini di dalam bidang fotogrametri dan sumbangannya terhadap proses

kalibrasi kamera bukan metrik iaitu kamera video yang berasaskan penderia CCD (Charge Couple Device). Pemprosesan serta analisis berkaitan juga dibincangkan.

## 2. TRANSFORMASI KAEDAH LANGSUNG (DLT)

Teknik transformasi kaedah langsung atau "Direct Linear Transformation (DLT)" adalah merupakan satu kaedah yang menggunakan syarat kekolinearan sebagai dasar utama. Teknik yang telah diperkenalkan oleh Abdel Aziz dan Karara (1971) ini mempamerkan satu kaedah transformasi secara terus diantara koordinat komparator ke koordinat objek tanpa melibatkan penggunaan titik fidusal, pembezaan dan anggaran yang mana amat diperlukan di dalam penyelesaian secara konvensional. Pada awalnya kaedah ini diperkenalkan untuk kegunaan kamera bukan metrik yang tidak menitikberatkan perkara-perkara di atas.

Syarat kekolinearan yang digunakan memegang prinsip dimana satah objek, kanta dan satah imej adalah terletak di atas satu garis lurus. Oleh yang demikian terdapat tiga bahagian penting di dalam kes ini iaitu satah objek, keadaan kanta kamera dan satah imej. Secara amnya, syarat kekolinearan adalah berdasarkan kepada hubungan transformasi berikut :

$$\begin{bmatrix} x - x_p \\ y - y_p \\ -c \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_o \\ Y - Y_o \\ Z - Z_o \end{bmatrix} \quad (1)$$

dimana;

$x, y$	-	koordinat foto yang telah diperbaiki
$x_p, y_p$	-	koordinat foto titik prinsipal di atas fotograf
$c$	-	jarak prinsipal kamera
$\lambda$	-	faktor skala
$m_{ij}$	-	elemen matrik putaran
$X, Y, Z$	-	koordinat objek titik
$X_o, Y_o, Z_o$	-	koordinat objek pusat prespektif kamera

Berdasarkan kepada syarat kekolinearan yang ditunjukkan di atas, satu persamaan DLT telah diterbitkan dengan menggambarkan 11 parameter ( $L_i$ ) seperti berikut :

$$\begin{aligned} x + \Delta x &= \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \\ y + \Delta y &= \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \end{aligned} \quad (2)$$

Selain daripada menyelesaikan masalah di atas, teknik transformasi kaedah langsung juga menyelesaikan 5 lagi parameter iaitu parameter-parameter yang berkaitan dengan erotan kanta secara simetri dan tak simetri. Rumusan berikut menunjukkan posisi parameter-parameter yang dinyatakan di dalam penyelesaian teknik DLT.

$$\begin{aligned}\Delta x &= x'(K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 + \dots) + P_1(r^2 + 2x'^2) + 2P_2 x' y' \\ \Delta y &= y'(K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 + \dots) + P_2(r^2 + 2y'^2) + 2P_1 x' y'\end{aligned}\quad (3)$$

dimana;

$$x' = x - x_0$$

$$y' = y - y_0$$

$$r^2 = x'^2 + y'^2$$

$K_i$  = parameter erotan simetri kanta

$P_i$  = parameter erotan tak simetri kanta

Penyelesaian bagi masalah di atas telah dilakukan dengan menggunakan kaedah pelarasan kuasa dua terkecil yang melibatkan setiap titik cerapan dan setiap foto yang diambil. Ini melibatkan penyelesaian terhadap 11 parameter-parameter DLT dan 5 parameter-parameter erotan kanta. Bagi teknik transformasi kaedah langsung, kesalahan sistematik yang dibetulkan dan bilangan parameter anu yang diselesaikan adalah mengikut spesifikasi di dalam jadual 1 berikut.

Kesalahan Sistematik Yang Dibetulkan	Parameter Anu	Bilangan Parameter Anu	Bilangan Titik Kawalan
(a) Komponen linear untuk deformasi filem, erotan kanta dan kesalahan komparator	$L_1$ hingga $L_{11}$	11	6
(b) Parameter pertama erotan kanta simetri dan kesalahan linear	$L_1$ hingga $L_{11}$ , $K_1$	12	7
(c) Parameter pertama, kedua dan ketiga erotan kanta simetri dan kesalahan linear	$L_1$ hingga $L_{11}$ , $K_1$ , $K_2$ dan $K_3$	14	8
(d) Parameter pertama, kedua dan ketiga bagi erotan kanta simetri, dua parameter erotan kanta tak simetri dan kesalahan linear	$L_1$ hingga $L_{11}$ , $K_1$ , $K_2$ , $K_3$ , $P_1$ , $P_2$	16	8

**Jadual 1 : Kesalahan Sistematik Dan Bilangan Parameter Anu Untuk DLT**

Spesifikasi yang dipaparkan di atas menjadi panduan kepada pengguna-pengguna teknik transformasi kaedah langsung mengenai berapakah bilangan parameter anu yang hendak diselesaikan dan berapakah bilangan titik-titik kawalan yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah tersebut.

Untuk tujuan kalibrasi kamera video, penentuan orientasi dalaman menjadi isu utama. Orientasi dalaman menitikberatkan dua perkara penting iaitu koordinat titik prinsipal ( $x_o$ ,  $y_o$ ) dan jarak prinsipal ( $C$ ). Penentuan nilai-nilai yang kritikal bagi elemen-elemen orientasi dalaman adalah merujuk kepada rumusan seterusnya yang banyak melibatkan parameter-parameter DLT.

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{L} &= L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2 \\
 x_o &= (L_1 L_9 + L_2 L_{10} + L_3 L_{11}) L \\
 y_o &= (L_5 L_9 + L_6 L_{10} + L_7 L_{11}) L \\
 c_x^2 &= -x_o + (L_1^2 + L_2^2 + L_3^2) L \\
 c_y^2 &= -y_o + (L_5^2 + L_6^2 + L_7^2) L \\
 c &= \frac{(c_x + c_y)}{2}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Daripada persamaan (3), kita mempunyai persamaan perkaitan seperti berikut :

$$\begin{aligned}
 (x + \Delta x)(L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1) - (L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4) &= 0 \\
 (y + \Delta y)(L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1) - (L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8) &= 0
 \end{aligned} \tag{5}$$

Nilai bagi  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  dihitung daripada persamaan (3) dan diaplikasikan kepada koordinat cerapan  $x, y$ . Jika kita ambil

$$\begin{aligned}
 \bar{x} &= x + \Delta x \\
 \bar{y} &= y + \Delta y
 \end{aligned} \tag{6}$$

kita akan dapati bahawa;

$$\begin{aligned}
 (\bar{x} L_9 - L_1) X + (\bar{x} L_{10} - L_2) Y + (\bar{x} L_{11} - L_3) Z + (\bar{x} - L_4) &= 0 \\
 (\bar{y} L_9 - L_5) X + (\bar{y} L_{10} - L_6) Y + (\bar{y} L_{11} - L_7) Z + (\bar{y} - L_8) &= 0
 \end{aligned} \tag{7}$$

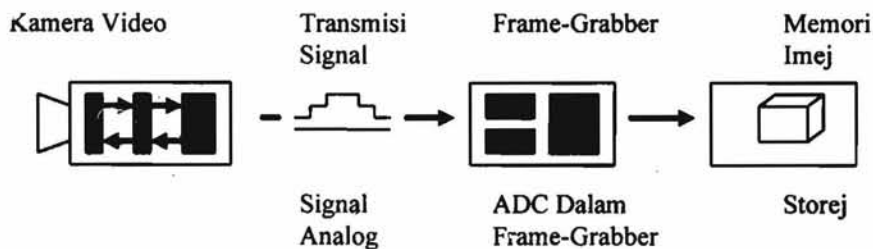


Dalam setiap fotograf, kita boleh nyatakan bahawa untuk setiap titik set pertama persamaan (7). Jika terdapat  $p$  fotograf digunakan di dalam penyelesaian, kita akan memperolehi  $2p$  bilangan persamaan untuk dihitung untuk parameter  $X, Y, Z$ , iaitu koordinat objek bagi titik tersebut. Bilangan darjah kebebasan (DF) akan menjadi  $DF=2p-3$ . Penyelesaian bagi kes penentuan koordinat  $X, Y$  dan  $Z$  untuk objek juga dilakukan dengan menggunakan kaedah pelarasan kuasa dua terkecil.

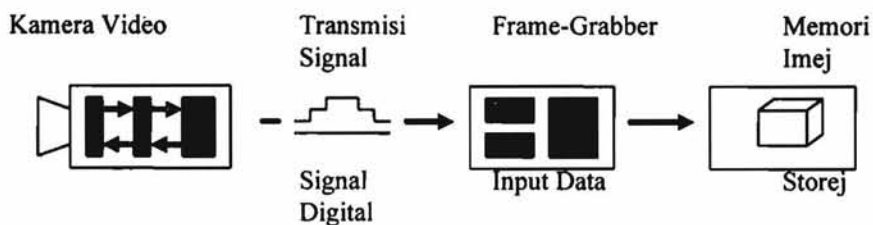
### 3. SISTEM PEMEROLEHAN DATA DAN UJIKAJI

Di dalam kajian yang telah dilakukan, kamera video NATIONAL M7 telah digunakan. Kamera ini mempunyai kemampuan memfokus secara automatik dengan nisbah pembesaran 1:14 dengan pembesaran kanta dari 9.00mm ke 54.00mm. Kamera ini beroperasi berasaskan kepada penderia CCD. Sistem pemerolehan data yang direkabentuk beroperasi secara talian terus (on-line) dengan gabungan kamera video, frame-grabber dan komputer peribadi.

Kamera video yang digunakan beroperasi dalam signal analog. Oleh yang demikian, alat frame-grabber digunakan selain untuk mengekang bingkai imej, juga bertindak sebagai alat penukar daripada signal analog ke signal digital. Mengapakah perlunya proses ini ?. Dari segi praktiknya, signal yang boleh dan hanya boleh diterima oleh komputer adalah signal digital. Oleh yang demikian, penggunaan alat frame-grabber adalah penting. Berbeza dengan kamera digital, yang menggunakan alat frame-grabber sebagai input data sahaja. Gambarajah 1 menunjukkan transmisi signal dan alat frame-grabber dengan perbandingan diantara kamera analog dan kamera digital.



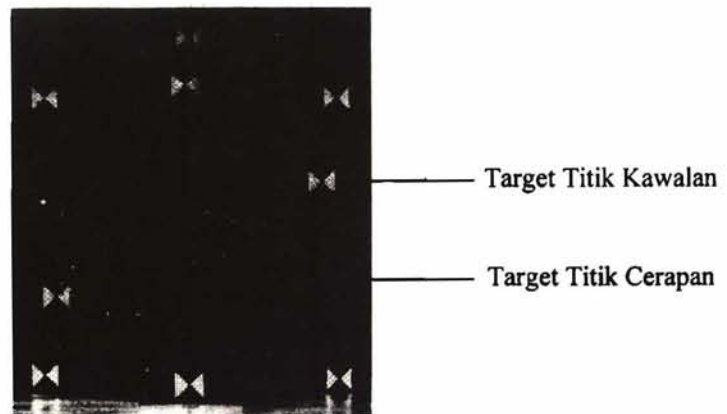
(a) Kamera Analog



(b) Kamera Digital

**Gambarajah 1 : Transmisi Signal Dan Penggunaan Alat Frame Grabber Antara Kamera Analog Dan Kamera Digital**

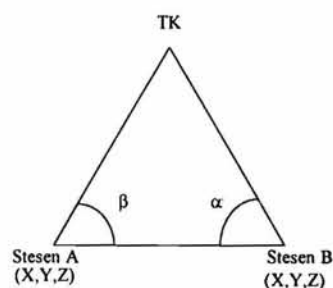
Satu objek ujian telah direkabentuk yang berukuran  $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$  dengan ketebalan  $0.1\text{m}$ . Objek ujian ini mempunyai lima permukaan yang berlainan kedalaman permukaan dan dilengkapi dengan 9 titik-titik kawalan dan 20 titik-titik cerapan (yang juga digunakan sebagai titik kawalan untuk beberapa kes). Titik-titik kawalan ditempatkan secara berselerak di lima permukaan objek ujian. Target untuk titik kawalan berukuran  $2.5\text{cm} \times 2.5\text{cm}$  manakala titik cerapan berbentuk bulatan berdiameter  $2.0\text{cm}$ . Gambarajah 2 menunjukkan objek ujian dan target yang direkabentuk.



**Gambarajah 2 :** Objek Ujian Dengan Titik Kawalan Dan Titik Cerapan

Objek yang dicerap dengan kamera video akan melalui proses penukaran daripada signal analog kepada signal digital dan dikekang dengan alat frame-grabber. Proses pengekangan dilakukan dengan menggunakan perisian MATROX INSPECTOR FOR WINDOWS dengan menggunakan menu-menu yang disediakan. Dengan menggunakan perisian ini jugalah koordinat-koordinat piksel (x,y) bagi titik-titik kawalan dan titik-titik cerapan dilakukan.

Koordinat-koordinat bumi (X,Y,Z) bagi titik-titik kawalan dan juga titik-titik cerapan ditentukan dengan menggunakan kaedah persilangan teodolit daripada dua stesen yang dianggarkan koordinatnya sebagai koordinat diketahui. Di setiap stesen teodolit, cerapan sudut mendatar dan sudut pugak dilakukan. Tinggi alat diukur dengan pita ukur. Gambarajah 3 menunjukkan pandangan plan kaedah persilangan teodolit.



**Gambarajah 3 :** Kaedah Silangan Teodolit

Hitungan koordinat dilakukan dengan rumusan di bawah :

$$\begin{aligned} X_{TK} &= [(Z_{sin2} - Z_{sin1}) + X_{sin1} \cot \beta + X_{sin2} \cot \alpha] / [\cot \alpha + \cot \beta] \\ Z_{TK} &= [(X_{sin1} - X_{sin2}) + Z_{sin1} \cot \beta + Z_{sin2} \cot \alpha] / [\cot \alpha + \cot \beta] \text{ dan} \\ Y_{TK} &= AL_{sin1} + Ta_{sin1} \pm V_{sin1} \text{ atau } Y_{TK} = AL_{sin2} + Ta_{sin2} \pm V_{sin2} \end{aligned} \quad (8)$$

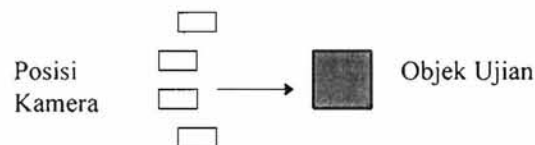
dimana;

$AL$  = Aras Laras (ketinggian)

$TA$  = Tinggi Alat

$V$  = Komponen Pugak

Proses penggambaran dilakukan dengan meletakkan kamera video di empat stesen yang berlainan posisinya. Gambarajah 4 menunjukkan posisi kamera video ketika cerapan dilakukan.



**Gambarajah 4 : Penggambaran Dengan Empat Stesen Kamera**

Dengan gabungan koordinat bumi dan koordinat piksel titik-titik kawalan dan titik-titik cerapan serta beberapa perkara lain seperti nilai ralat piawai cerapan teodolit dan cerapan koordinat piksel, pemprosesan data dilakukan dengan menggunakan program pengaturcaraan DLT dengan perkara-perkara di atas adalah bertindak sebagai data input. Lanjutan daripada proses ini, program pengaturcaraan DLT akan memberikan hasil output yang mengandungi perkara-perkara seperti darjah kebebasan ujian, ralat piawai seunit pemberat, elemen-elemen orientasi dalaman ( $X_p, Y_p, C$ ), 11 parameter DLT beserta sisihan piawainya, parameter-parameter erotan kanta berserta sisihan piawainya, nilai RMS perbezaan diantara koordinat bumi yang ditentukan dengan kaedah persilangan teodolit berbanding koordinat bumi hitungan DLT dan koordinat-koordinat bumi bagi titik-titik transformasi yang lain yang dianggapkan sebagai titik semakan.

#### 4. HASIL KAJIAN

Hasil kajian terdiri daripada koordinat-koordinat bumi ( $X, Y, Z$ ) titik-titik kawalan yang dihitung dengan menggunakan rumusan (4). Jadual 2 menunjukkan senarai titik-titik kawalan serta koordinat bumi yang telah dihitung. Selain daripada koordinat-koordinat tersebut, hasil kajian juga meliputi hasil output daripada program DLT yang mempamerkan perkara-perkara seperti bilangan darjah kebebasan (DF), parameter orientasi dalaman untuk setiap stesen kamera video, parameter DLT beserta sisihan piawai, parameter erotan kanta berserta sisihan piawai dan perbezaan koordinat cerapan dan koordinat DLT.

Titik	X (m)	Y (m)	Z (m)
001	10.5317	1.2891	7.6389
002	10.7617	1.3990	7.6002
003	10.7506	1.2868	7.7975
004	10.9903	1.2888	7.6605
005	10.9541	1.1451	7.7504
006	10.5620	0.9676	7.7333
007	10.5372	0.8364	7.6362
008	10.7585	0.8361	7.7904
009	10.9968	0.8327	7.6459
301	10.5982	1.2349	7.6397
302	10.6958	1.3551	7.5938
303	10.7620	1.3547	7.5973
304	10.8185	1.3543	7.6003
305	10.7541	1.2312	7.7952
306	10.9237	1.2343	7.6541
307	10.7550	1.1753	7.7943
308	10.7557	1.1194	7.7933
309	10.5944	1.1165	7.7335
310	10.9202	1.1114	7.7464
311	10.5953	1.0604	7.7332
312	10.7564	1.0624	7.7923
313	10.9217	1.0551	7.7451
314	10.5962	1.0038	7.7328
315	10.7537	1.0063	7.7913
316	10.9230	0.9985	7.7434
317	10.5998	0.8863	7.6361
318	10.7583	0.9503	7.7906
319	10.9276	0.8849	7.6443
320	10.7292	0.8938	7.7901

**Jadual 2 :** Koordinat Objek Titik-Titik Kawalan Dan Titik Cerapan

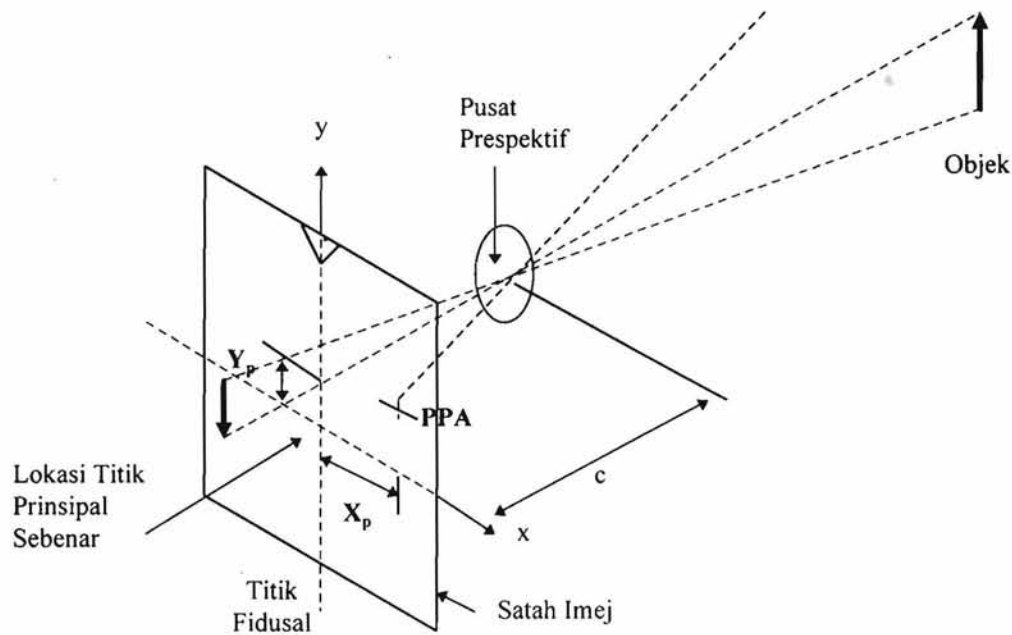
## 5. ANALISIS

Untuk tujuan kalibrasi terdapat dua jenis analisis yang perlu dilakukan. Analisis tersebut adalah analisis terhadap parameter-parameter orientasi dalaman dan parameter-parameter erotan kanta. Berikut perbincangan lanjut analisis-analisis berkenaan.

### 5.1 Parameter Orientasi Dalaman

Parameter-parameter orientasi dalaman yang terlibat adalah titik prinsipal berkoordinat ( $X_p, Y_p$ ) dan jarak prinsipal ( $C$ ). Analisis yang dilakukan merujuk kepada prinsip penggambaran yang berlaku di dalam geometri orientasi dalaman dalam konteks fotogrammetri seperti tertera di gambarajah 5 berikut.





**Gambarajah 5 : Geometri Orientasi Dalaman**

Daripada gambarajah di atas, PPA merupakan posisi titik prinsipal autokolimatan manakala  $C$  pula adalah jarak prinsipal. Secara teorinya, bagi satu proses penggambaran lengkap, titik PPA tidak akan wujud kerana posisi sebenar titik prinsipal adalah di pusat satah imej (seperti dalam gambarajah). Bagi ujikaji yang dilakukan, satah imej merupakan satah penerima alat frame-grabber yang bersaiz 720 x 455 piksel. Koordinat sebenar titik tengah penerima ini adalah 360 x 227 piksel. Jika kamera video yang digunakan berkeadaan baik, maka titik prinsipalnya akan berada di koordinat piksel yang dinyatakan.

Secara teorinya, posisi titik prinsipal akan terganggu jika wujudnya faktor erotan kanta. Oleh yang demikian untuk melihat apakah benar perkara ini, maka ujikaji dilakukan dengan penyelesaian DLT terhadap 11 dan 16 parameter. Penyelesaian terhadap 11 parameter tidak melibatkan parameter erotan kanta manakala penyelesaian terhadap 16 parameter melibatkan lima parameter erotan kanta. Jadual 3 menunjukkan hasil yang diperolehi.

Bilangan Imej	Bilangan Parameter Anu	No Imej	$X_p$	$Y_p$	$C$
4	11	1	337.9483	232.6025	1145.3778
		2	388.8845	264.1176	1086.0000
		3	351.7124	311.8006	1112.4147

sambungan

Bilangan Imej	Bilangan Parameter Anu	No Imej	Xp	Yp	C
		4	368.0182	277.1839	1111.8009
	16	1	-33.8852	557.7077	1119.5093
		2	-23.5032	273.4769	1105.5066
		3	-507.6033	484.6202	1144.4375
		4	-435.6354	762.7228	1112.1778

**Jadual 3 :** Parameter Orientasi Dalam Mengikut Bilangan Parameter Anu

Daripada jadual di atas kita dapat melihat bahawa pada penyelesaian dengan 11 bilangan parameter anu, posisi titik-titik prinsipal untuk keempat-empat imej pengambaran adalah terletak berhampiran dengan titik prinsipal sebenar berbanding penyelesaian yang dilakukan terhadap 16 parameter anu yang mempamerkan keputusan yang menjauhi titik prinsipal sebenar. Satu kesimpulan yang dapat dibuat di sini adalah terjadinya situasi di atas disebabkan oleh pengaruh erotan kanta di mana penyelesaian 11 parameter anu tidak melibatkan sebarang parameter-parameter erotan kanta berbanding penyelesaian 16 parameter anu yang melibatkan 5 parameter erotan kanta. Daripada gambarajah 5 kita telah dapat perhatikan bahawa posisi titik PPA (Principal Point Autocollimation) adalah disebabkan oleh kanta. Jika tidak berlaku erotan kanta, maka posisi titik PPA adalah setindih dengan titik prinsipal sebenar. Daripada jadual 3 juga dapat diperhatikan bahawa jarak prinsipal (C) mengambil nilai yang hampir sama di antara satu dengan yang lain. Dari segi konsepnya, jarak prinsipal mesti mengambil nilai yang tetap dengan kata lain posisinya sentiasa tetap. Perubahan nilai yang ditunjukkan mungkin disebabkan oleh kanta daripada faktor erotan dan sebagainya. Namun pada julat perubahan nilai jarak prinsipal yang ditunjukkan ianya masih boleh diterima. Fenomena yang menyatakan bahawa bagi kamera bukan metrik, elemen-elemen orientasi dalamannya adalah tidak setabil terbukti benar.

## 5.2 Parameter Erotan Kanta

Di dalam kajian yang telah dilakukan terdapat dua jenis erotan kanta. Kedua-duanya adalah erotan kanta secara radial ( $K_1, K_2, K_3$ ) dan erotan kanta secara pemusatan ( $P_1, P_2$ ). Penyelesaian bagi kedua-dua jenis erotan kanta yang dimaksudkan dilakukan dengan menggunakan model matematik berikut :

$$\delta r = K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 \quad (9)$$

dan

$$P(r) = (P_1^2 + P_2^2)^{1/2} r^2 \quad (10)$$

dimana;

$$r^2 = (x - x_p)^2 + (y - y_p)^2 = \text{jejari erotan dari pusat kanta}$$

$\delta r$  = erotan kanta simetri (radial)

$P(r)$  = erotan kanta tak simetri

$K_1, K_2, K_3$  = parameter-parameter erotan kanta simetri

$P_1, P_2$  = parameter erotan kanta tak simetri

Bagi tujuan untuk melihat apakah faktor erotan kanta benar-benar memberikan kesan terhadap kamera video yang digunakan, satu ujian statistik telah dilakukan. Ujian statistik yang dilakukan melibatkan ujian taburan- $t$  yang menisbahkan nilai parameter berbanding nilai sisihan piawai parameter berkenaan. Ujian statistik yang dimaksudkan adalah

$$t = \frac{\beta}{S_{\beta}} \quad (11)$$

di mana;

$$\begin{array}{ll} \beta & - \quad \text{parameter terlibat} \\ S_{\beta} & - \quad \text{sisihan piawai parameter terlibat} \end{array}$$

Parameter  $\beta$  terdiri daripada lima parameter erotan kanta iaitu K1, K2, K3, P1 dan P2. Untuk melihat samada parameter-parameter di atas berkesan atau tidak, satu had ujian telah ditetapkan dengan aras keyakinan antara 90%, 95%, 97.5%, 99%, 99.5% dan 99.9% dengan darjah kebebasan yang diuji adalah 14, 26 dan 34. Untuk tujuan pengesahan keberkesanan, satu ujian hipotesis ditetapkan dimana jika nilai  $t$  yang dihitung lebih besar daripada nilai  $t$  kritikal (daripada jadual taburan- $t$ ), maka parameter adalah berkesan.

$$H_o: \beta = 0 \quad (12)$$

$$H_1: \beta > 0$$

Jika  $t_{hitung} > t_{kritikal}$  parameter  $H_o$  disingkirkan dan parameter yang diuji adalah diperlukan. Daripada ujian yang telah dilakukan didapati bahawa 99.9% menunjukkan parameter-parameter erotan kanta yang diuji adalah tidak memberikan kesan terhadap kanta kamera video. Ini adalah kerana nilai parameter yang diuji adalah terlalu kecil dan menghampiri kepada nilai sifar. Namun yang demikian pada aras keyakinan 90%, masih terdapat beberapa parameter yang menunjukkan kesannya terhadap kanta kamera video. Kejadian ini dianalisis dengan memplotkan graf dan kontor serta permukaan DTM menggambarkan keadaan kanta.

Kedua-dua model matematik 5-1 dan 5-2 digunakan untuk menentukan nilai erotan kanta dengan unit mikrometer sementara nilai jejari,  $r$  adalah dalam unit piksel dan milimeter. Analisis pertama yang dilihat adalah gambaran erotan kanta melalui plotan graf erotan. Pemprosesan data-data serta hasil erotan dilakukan dengan menggunakan perisian "*LDCS Version 1.0*" yang direkabentuk dengan menggunakan perisian *Microsoft Excel*. Hasil hitungan adalah seperti yang dilampirkan berserta dengan plotan graf, kontor dan permukaan DTM erotan.

Graf, plotan kontor dan plotan DTM erotan yang berlaku menunjukkan bahawa erotan adalah sifar dan juga bersifat minima di pusat kanta dan bertambah apabila menjauhi pusat tersebut. Dari aspek teori sains optik, kejadian ini merupakan satu fenomena asas yang benar-benar berlaku. Dengan ini bolehlah dirumuskan bahawa parameter-parameter erotan kanta yang dihasilka daripada teknik transformasi kaedah langsung adalah benar. Jadual 4 menunjukkan parameter erotan kanta serta nilai sisihan piawai hasil dari program pengaturcaraan DLT.



Parameter	Nilai Parameter	Nilai Sisihan Piawai
K1	-0.66466821e-7	0.23229489e-6
K2	-0.20030833e-13	0.14640957e-11
K3	0.48937040e-18	0.41020444e-17
P1	-0.62054923e-4	0.33151543e-4
P2	0.94664035e-4	0.36514599e-4

**Jadual 4 :** Parameter Erotan Kanta Serta Nilai Sisihan Piawainya

## 6. KESIMPULAN

Daripada kajian yang telah dilakukan dapatlah dibuatkan kesimpulan bahawa proses kalibrasi adalah satu proses yang mesti dilakukan terhadap kamera bukan metrik (kamera video) sebelumnya ianya digunapakai untuk tujuan kerja-kerja fotogrammetri jarak dekat. Penentuan parameter orientasi dalaman serta corak erotan kanta menjadi isu utama. Untuk tujuan ini, teknik transformasi kaedah langsung (DLT) telah digunakan dan ternyata memberikan keputusan yang memuaskan. Sebagai cadangan, penulis mengesyorkan satu kajian yang perlu dilakukan untuk melihat dari aspek kalibrasi radiometri terhadap kamera video yang sama. Gabungan diantara kedua-dua aspek kalibrasi (geometri dan radiometri) akan memantapkan lagi potensi penggunaan kamera video untuk tugas-tugas fotogrammetri.

## PENGHARGAAN

Kajian ini adalah sebahagian daripada projek penyelidikan tajaan Unit Penyelidikan dan Pembangunan (UPP), UTM Skudai.

## RUJUKAN

- Armin W.G (1989), *Digital Photogrammetric Processing Systems : Current Status And Prospects*, Photogrammetric Engineering And Remote Sensing, Vol 55, No 5, May 1989, pp : 581-586.
- Armin W.G (1978), *Accuracy, Reliability And Statistics In Close Range Photogrammetry*, Inter-Congress Symposium, Comission V, ISPRS.
- Armin W.G (1985), *Data Processing Methods For Amateur Photographs*, Photogrammetric Record, 11(65) : 567-579
- Burner A.W., W.L. Snow and W.K. Goad (1986). *Close Range Photogrammetry With Video Camera*, NASA Langley Research Center, VA 23665.
- Beyer H.A (1995), *Automated Dimensional Inspection With Real Time Photogrammetry*, ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing, 50(3) : pp 20-26.
- Beyer H.A (1988), *Linejitter And Geometric Calibration Of CCD Cameras*, Int Arch Photogrammetry And Remote Sensing, 27(B10) : pp 315-324.
- Beyer H.A (1992), *Geometric And Radiometric Analysis Of CCD Camera Based Photogrammetric Close-Range System*. Dissertation No 9701, ETH, Zurich.



Aplikasi Teknik Transformasi Kaedah Langsung  
Untuk Kalibrasi Kamera Video Dalam Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat

- Beyer H.A (1991), *An Introduction To Photogrammetric Camera Calibration*, Invited Paper, Seminaire, Orasis, St Malo, September 24-27, 1991, pp : 37-42.
- Beyer H.A (1990), *Calibration Of CCD Cameras For Machine Vission And Robotics*, SPIE Vol 1197 Automated Inspection And High Speed Architectures III, pp : 88-89.
- Bernard L.C.M (1988), *Direct Linear Transformation In Determining Coordinates (X,Y,Z)*, Kertas Tajuk Khas, Fakulti Ukur, Universiti Teknologi Malaysia.
- Beyer H.A (1987), *Some Aspects Of The Geometric Calibration Of CCD Cameras*, ISPRS Intercommission Conference On "Fast Processing Of Photogrammetric Data", Interlaken, June 2-4.
- Becker B (1996), *Semiautomatic Camera Lens Calibration From Partially Known Structure*, Internet Information.
- Bethea R.M, Duran B.S and Boullion T.L (1985), *Statistical Methods For EnGineers And Scientists*, Marcel Dekker, INC.
- Bruce R.H (1995), *Practical Least Square And Statistics For Surveyors*, Monograf 13, School Of Geomatic Engineering, University Of New South Wales
- Brown D. C (1971), *Close-Range Camera Calibration*, PERS, 855-865
- Brown D.C (1971), *Decentring Distortion Of Lens*, PERS, 444-462
- Caspary W.F (1987), *Concepts Of Network And Deformation Analysis*, Monograf 11, School Of Geomatic Engineering, University Of New South Wales
- Chiang M.C and Boulton T.E (1996), *A Public Domain System For Camera Calibration And Distortion Correction*, Internet Information.
- Cooper M.A.R and Cross P.A (1988), *Statistical Concepts And Their Application In Photogrammetry And Surveying*, Photogrammetric Record, 12(71) : 637-663
- Curry S and Baumrind S (1986), *Calibration Of An Array Camera*, Photogrammetric Engineering And Remote Sensing, Vol 52 No 5 May 1986, pp 627-636.
- Dowdy S and Wearden S (1983), *Statistics For Research*, John Wiley & Sons Publishers.
- El-Hakim S.F (1984), *A Photogrammetric Vission System For Robots*, Int. Arch. Photogrammetry And Remote Sensing, Vol XXX, Part 45, pp : 223-231
- El-Hakim S.F (1986), *A Real Time System For Object Measurement With CCD Cameras*, Int. Arch. Photogrammetry And Remote Sensing, 26(5), pp 363-373.
- El-Hakim S.F (1986), *Real Time Image Metrology With CCD Cameras*, Photogrammetric Engineering And Remote Sensing, Vol 52, No 11 November, pp : 1757-1766.
- Ettinger G (1996), *Camera Calibration*, Internet Information. Netscape Navigator 3.0
- Fryer J.G and Mason S.O (1989), *Rapid Lens Calibration Of A Video Camera*, Photogrammetric Engineering And Remote Sensing, Vol 55, No 4, April 1989, pp : 437-442.